中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 42(4)：430～445 (1993)

電子式穀物水份計之性能研究[1]

陳 加 忠　　曹 之 祖[2]

摘要：農產品含水率是影響品質的一項重要性質。準確的含水率量測在穀物加工作業與市場買賣上十分重要。電子式水份計可快速的測定水份，但其量測值缺乏準確性。此研究目的在於評估數種含水率測定技術的性能。以烤箱法所得的含水率爲標準值和電子型量測技術之量測值加以比較。以統計方法分析所量得含水率數值之準確性與精密性。用以測定之農產品有稻穀、玉米粒、大豆、紅豆等四種。在每一點測定計算其標準差，變異係數以決定其適用量測範圍。並以迴歸分析方法對所有區域測定範圍內之量測值建立其校正方程式以改良其準確性。研究結果顯示電子型水份計之準確性對在量測範圍內，水份計直接讀出值或利用校正方程式改良之準確性可在1.0%之內。20%以上之高水份穀粒，其誤差值極大，針對國內穀物加工技術之調整方向，急需開發高水份穀物 (20%) 之含水率感測器。

關鍵詞：穀物、水份計。

含水率量測的準確性在加工作業之重要性無可取代。例如對乾燥設備之自動控制作業，需有準確的含水率即時現地的量測，才可達到預設之含水率要求。在國內稻穀收購時，準確地含水率測定可保證賣方（農民）與買方（農會或糧商）皆能在公平之條件上完成交易。在穀倉管理作業中，穀物樣本之含水率量測值可提供貯存環境是否良好之判別依據。國內之業者往往對於所購買之含水率量測設備直接加以利用，而對量測值與標準值之誤差未加以校正與調整。

感測器之性能主要有四種：準確性、精密性、遲滯性與持久性[1]。以往之含水率測定技術其性能之比較往往僅以準確爲主，而其比較所用標準，缺乏學理之依據。Noomhurm 與 Verma[8]描繪量測值與標準值之分佈圖形，以其相關係數（R^2）做爲評估之標準。Hurburgh 等人[6]則建立量測（Mm）與標準值（Mo）之差異值（Da＝Mo-Mm），與標準值之關係式，但其 R^2 值皆小於0.6。

此研究之目的如下：

一、評估數種電子式穀物水計對四種農產品之量測準確性。

二、以統計技術探討其性能因子，包括其標準差，變異係數，以決定其適用量測範圍。

三、以迴歸分析對區域量測範內量測值建立其校正方程式，以評估準確性之改良能力。

材料與方法

一、研究所用設備

㈠烤　箱

德製 Rost　Fret 牌，溫度控制範圍於2°C以內，用以量測含水率，此研究中所標稱之含水率均爲濕基（w.b.%）

---

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1697 號。
2. 本所農業工程系副研究員、技士。

㈡電子式水份計

型式與廠商所列規格如下：

1. 電阻式（Resistive-type）

(1)Kett Riceter Model L：

利用平板擠壓樣本，因電阻變化以量測含水率，稻穀之適用測範圍爲11～305，準確度±0.1%。

(2) YM-80型

日本山本公司產品，係利用平板擠壓方法量測，稻米測定範圍爲10%～40%，含水率10～20%時，準確度±0.5%，含水率30%以上時，準確度±1%。

(3) CMW 型

國內精明公司生產廠牌，樣本置於量測穴內，利用槓桿原理壓擠接觸點以量取含水率。此型設備共有兩種；兩段型（11～26%）與三段型（11—34%）。

(4) HE-50型，

德國 Mess-und Prufgerate 廠生產，可量測14種農產品。樣本放置於容器(Cell)內，以擠壓筒套入加以施力，依電阻變化量測水份值，具有溫度補償線路。準確度未加註明。

2. 電容型（Capacitance-Type）

此研究使用 Steinlite SS 250 型，可量測13種產品，量測範圍因作物而異，如玉米粒（10—36%），大豆（9—18%），高粱粒（9—22%），稻穀（9—18%）。具有溫度自我補償裝置。

3. 高週波型（High-frequency waves type）

國產廠牌新營無線電行所產 CD-3A 型，可量測四種農產品，有溫度補正裝置，樣本直接傾入容器內量測，無破壞性，測定範圍10—30%，精密性±0.5%。

二、測定材料

㈠稻穀（臺農67號）

㈡玉米粒（臺農1號）

㈢大豆（高改5號）

㈣紅豆（愛家豆）

三、樣本處理方法

所測定樣本自田間採收後量測其最初含水率，並以乾燥設備乾燥至預定含水率，乾燥所用溫度約50°C左右，由初期試驗可知每批樣本數量約需要3.5公斤。乾燥完成冷卻後均勻混合置於密閉塑膠袋內，使其含水率成均勻狀態。其平衡相對濕度大於65%之樣本則放置於2°C冷凍櫃內以避免發霉。量測前24小時取出使其溫度與室溫平衡。另一種樣本爲乾燥機乾燥作業中現地取出之樣品。

四、試驗方法

㈠烤箱含水率量測

除稻穀外，乾燥時間與溫度採用 ASAE 標準[3]，

1. 稻穀：105°C，72 hr

2. 玉米粒：105°C，72hr

3. 大豆、紅豆：105°C，72 hr

㈡電子式水份計：依據儀器使用說明，記錄其讀出數據。

以上試驗中水份計之量測至少爲7重覆。

五、實驗數據分析

研究中以烤箱所量測之數據平均值爲標準值，用以評估其它測定技術之性能。相關之統計技術說明如下：

㈠點測定

在同批樣本含水率測定中，各測定設備多次量測之數據其統計分析包括平均值（x），與標準差之計算。

在量測所得數據中，因儀器故障等因素偶有巨大誤差出現，爲避免此類數據影響測定性能值，以 t 檢定和信賴區間之技術[5]加以刪除。

㈡區域測定

在全部量測範圍內，繪製標準值對量測值和各統計量之數據分佈，觀察不同測定設備在測定範圍之性能表現，其應用技術如下：

1. 檢定量測誤差對標準值之分佈是否有規律性，依此分佈狀況可比較其適用範圍。
2. 以量化方式比較其性能，所用統計量 DM,s 之計算公式如下：

$$DM=\Sigma\mid(Y-X)\mid/N \quad \cdots\cdots(1)$$

$$=\Sigma\mid e\mid/N \quad \cdots\cdots(2)$$

Y爲樣本以烤箱法量測所得之標準值，X爲水份計直接量測所得之量測值，N爲數據數目。e 表示儀器量測之誤差值，s 值表示 e 之絕對值經統計運算後之標準差。

DM 爲誤差絕對值之平均值。DM 值代表以量測值爲標準值時，水份計之準確性。

3. 利用Y對X之數據建立校正方程式，繪製量測值對標準值之量測曲線，其曲線分佈通常有六型[2]，利用迴歸分析技術以建立適當之校正曲線[7]，而迴歸分析所得之標準差值（SE）可作爲利用校正曲線改良量測性能後之性能比較標準，SE 值之計算公式如下：

$$SE=\sqrt{[(Y-y)]^2/(N-P)} \quad \cdots\cdots(3)$$

Y爲標準值，y爲校正方程式預測值，P爲方程式參數數目。

SE 值代表水份計讀出值經校正方程式計算後，其量測性能之準確性。

所有之校正方程式均觀察其適用範圍對預測性能影響，以評估其適用範圍。

4. 校正公式之統計評估

良好的量測設備其量測值與標準值之分佈應無顯著誤差存在，即其校正方程式 Y＝a＋bx 應合乎Y＝x之條件，適用的統計技術用以檢定 y＝a＋bx 值，其兩係數之標準差各爲 SE(a) 與 SE(b)，利用以下公式可檢定a，b值與0.1是否差異。

$$t(a)=(a-0)/SE(a) \quad \cdots\cdots(3)$$

$$t(a)=(b-1)/SE(b) \quad \cdots\cdots(4)$$

以 t(a),t(b) 值與 t(N-2,0.95) 值比較，可判斷差異值是否顯著。

結果與討論

一、電阻式水份計

㈠Kett Riceter Model C 型

利用 Kett 水份計對稻穀之量測結果如圖1，2，圖中之數字代表同一座標數據重覆出現之次數，以下各圖皆同。由圖1之數據分佈可知穀物含水率大於20%後，其量測訊號趨向一定，不隨樣本含水率之增加而增加，誤差值隨之增大。量測範圍20%以內之誤差分佈圖如圖3所示。量測範圍爲15～16%時，其準確性最高，此原因可歸諸於此型水份計之量測校正基準爲良質米（含水率維持15.5%）而定。誤差值之標準差對標準值之分佈並無顯著之曲線分佈現象。

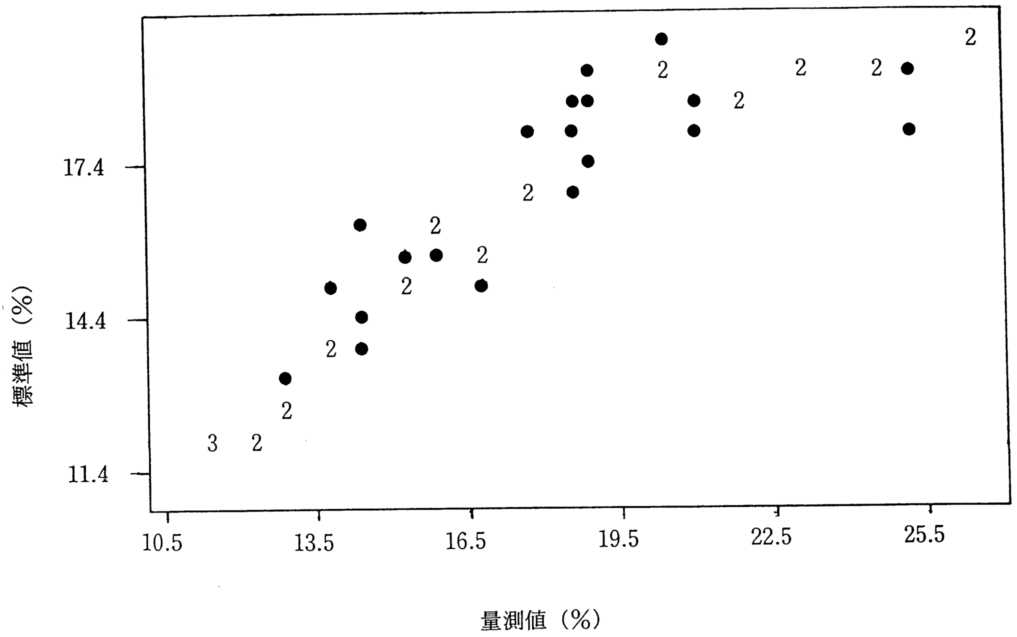

圖 1． Kett 水份計量測稻穀含水率之性能（10～26%）

Fig. 1. Meter values versus oven moisture of rough grains for Kett meter (10～26%)

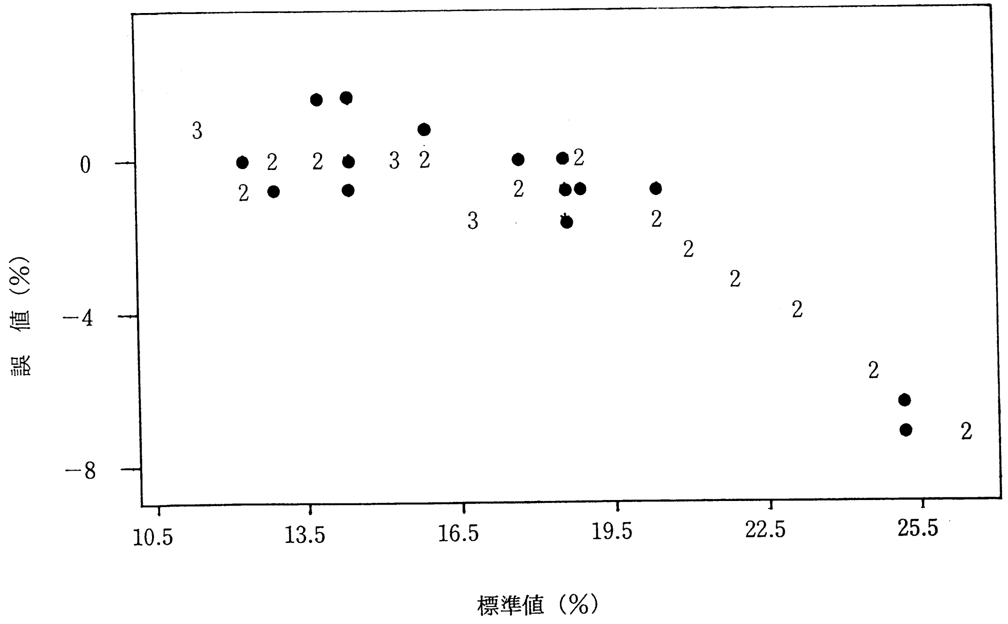

圖 2． Kett 水份計量測稻穀含水率之誤差分佈（10～26%）

Fig. 2. Meter bias versus oven moisture of rough grains for kett meter (10～26%)

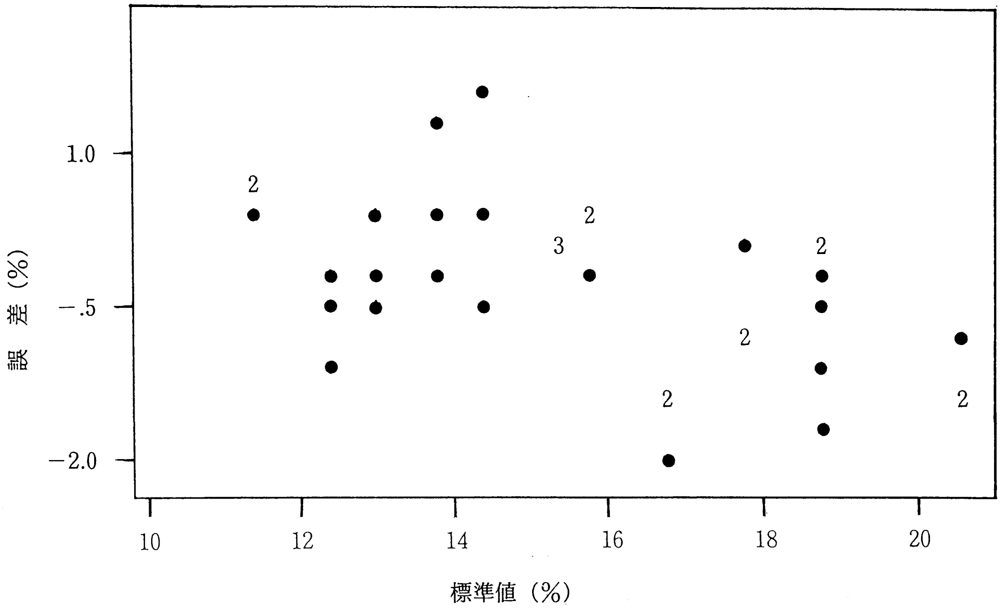

圖 3. Kett 水份計量測稻穀含水率之誤差分佈（10～20%）

Fig. 3. Meter bias versus oven moistture of rough grains for Kett meter（10～20%）

在10～20%量測範圍內，

DM＝0.66，誤差絕對值之標準差，s＝0.56，可知其準確性在1.0%之內。

最佳校正方程式為直線方程式，

Y＝2.06＋0.851X，R^2＝0.92，SE＝0.73，因 DM＝0.66，SE＝0.73，可知利用校正曲線對此水份計之準確性改善不大。校正方程式並不合乎 a＝0，b＝1.0之條件。

(二)YA-80型

YA-80型有兩種切換鍵，可量測一般之樣本與乾燥作業中自乾燥機取出之樣本。

1. 一般樣本

一般貯存平衡狀態之樣本量測值對標準值之誤差分佈圖可知在12%以下時其量測誤差大為增加，高達1.2%以上。大於12%時其誤差分佈如圖4，由圖可知在15～18%之範圍，準確性最好，超過20%之範圍，其誤差分佈成發散狀態，顯示其限制。誤差之標準差分佈圖亦有相同結果。

在適用範圍誤差絕對值統計量 DM＝0.293，s＝0.306，顯示其準確度極佳。

最佳校正方程式為直線方程式，

Y＝−0.0907＋1.003X，R^2＝0.994，SE＝0.43，校正方程式對性能之改善不大。依統計檢定結果此方程式合乎斜率為1.0，截矩為0之良好性能要求，顯示此種水份計之量測性能十分良好。

2. 乾燥機取出樣本

在乾燥機乾燥過程中取出之量測樣本有兩大特性：

(1)其穀溫往往高於氣溫，因此量測時電阻訊號之溫度補償十分重要。

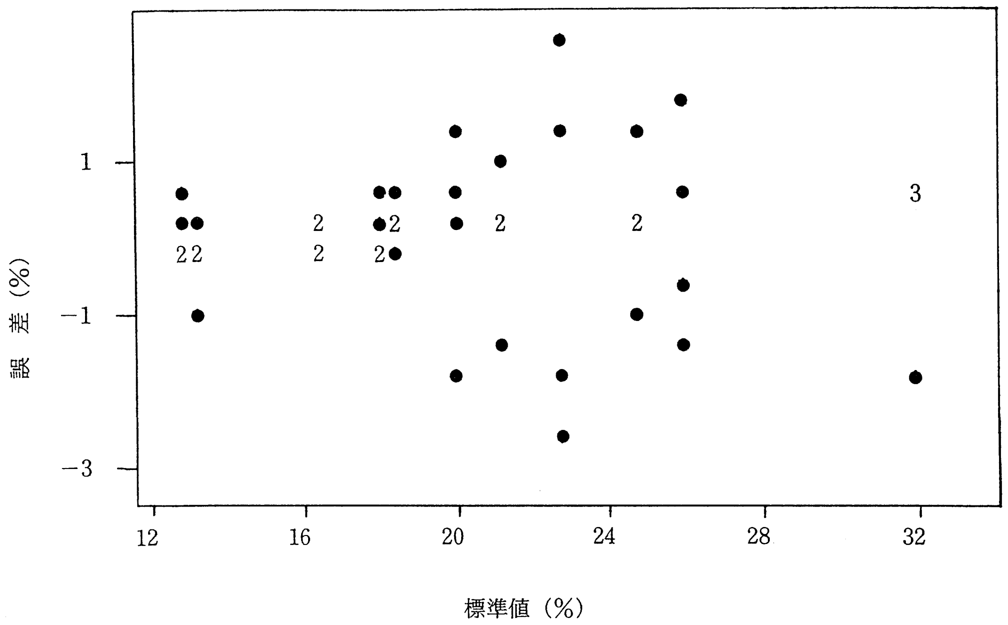

圖4. YA-8D 水份計量測稻穀含水率之誤差分佈（12～30%）

Fig. 4. Meter bias versus oven moisture of rough grains for YA-8D meter (10～30%)

(2)穀粒之內部水份分佈未到達平衡狀態

利用 YA-80 對乾燥機內部穀粒進行量測所得結果，其誤差分佈如圖5所示，分佈範圍遠大於圖4，可知因樣本水份不均引起量測誤差的增加。DM 值爲1.02，s＝0.63，誤差絕對值之統計量其量化數值均增加，其準確性仍維時在1.0%。

直線方程式爲最佳校正方程式，$Y = 1.163 + 0.989 \cdot X$，$R^2 = 0.98$，SE＝0.76，其截矩不爲零，但斜率與1.0並無相異。對準確性之改良不大。

(三)CMW 型

1. 兩段式

利用兩段式水份計所量測之結果如圖6。其誤差分佈圖如圖7。量測值大於19%時，誤差十分嚴重。顯示其適用範圍在20%以下，在10.5～20%之量測範圍中，誤差比較之統計量 DM＝1.61，s＝0.31。

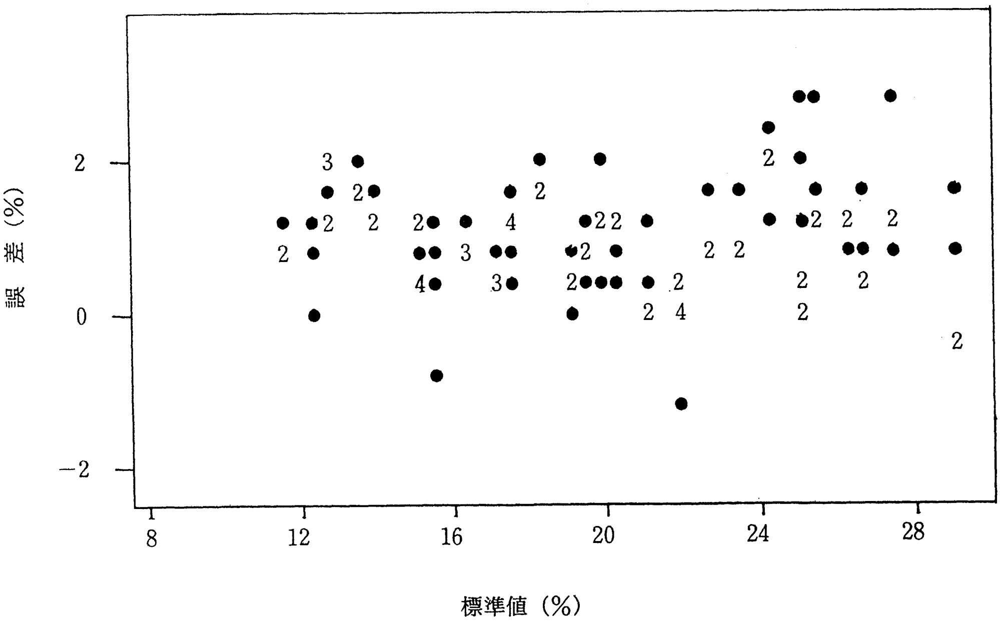

圖 5．YA-8D 水份計量測乾燥過程中稻穀水份計之誤差分佈
Fig. 5. Meter bias versus oven moisture of rough grains in drying process for YA-8D meter

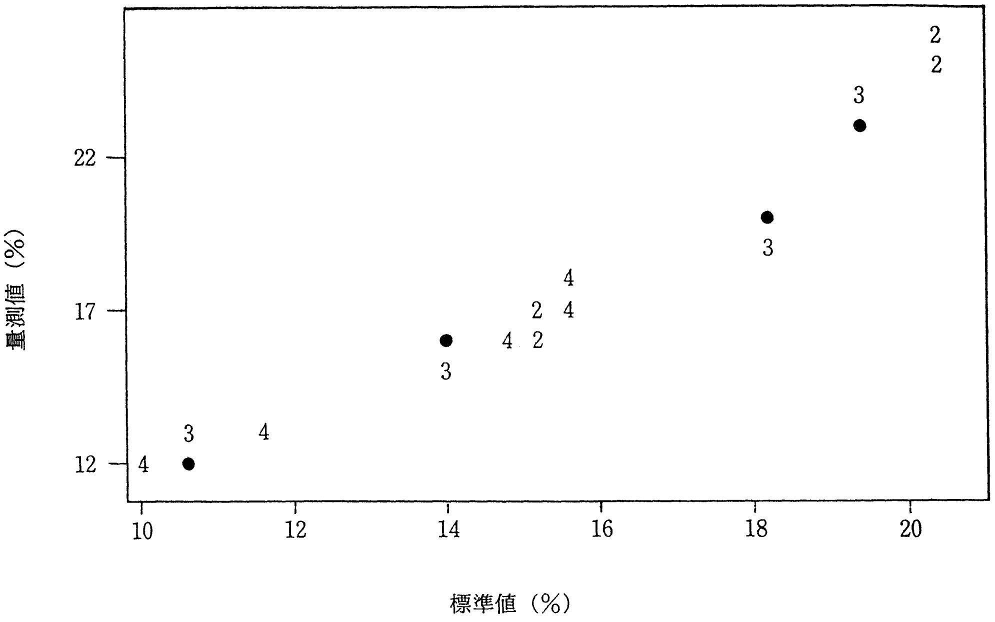

圖 6．CMW 兩段式水份計量測稻穀含水率之性能
Fig. 6. Meter values versus oven moisture of rough grains for CMW two-stage meter

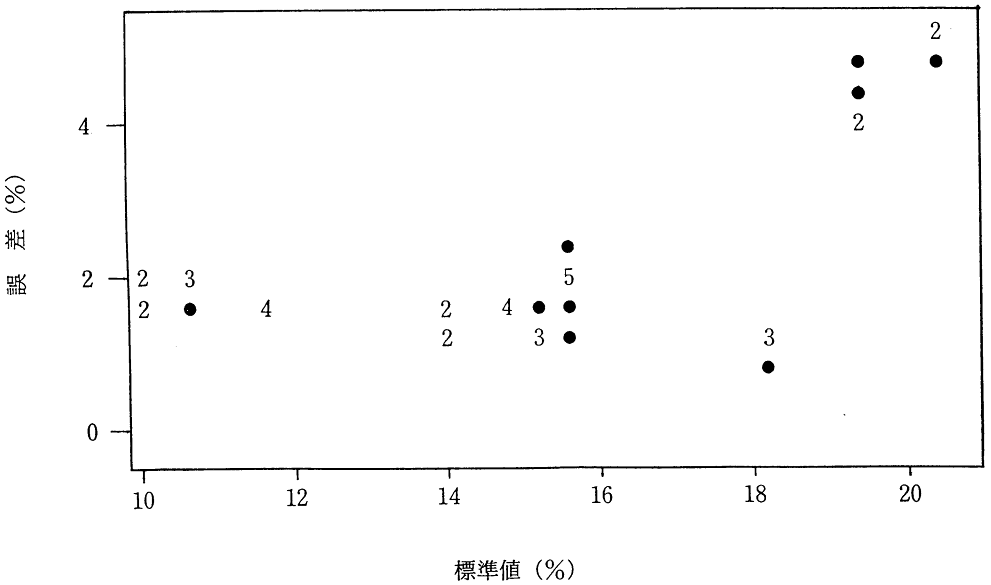

圖 7. CMW 兩段式水份計量測稻穀含水率之誤差分佈

Fig. 7. Meter bias versus oven moisture of rough grains for CMW two-stage meter

最佳校正方程式為二項式方程式，

$Y=14.670-0.993X+0.0739\times X^2$

$R^2=0.98$，SE=0.64，利用校正方程式可使準確性自 DM=1.61減低至 SE=0.64對準確性改善極大。

2. 三段式

利用兩種樣本進行性能測定：

(1)一般樣本

三段式水份計其量測性能與範圍於規格書顯示可至32%，然其實際量測誤差分佈顯示在21%量測範圍之外存在極大的誤差。

誤差絕對值統計量 DM=1.15，s=0.77

最佳校正方程式為直線方程式，$Y=0.254+1.0537\cdot S$，$R^2=0.98$，SE=0.73，其截矩與0，斜率與1.0，並無顯著差別。利用校正方程式可改良性能。

(2)乾燥過程之樣本

在乾燥作業時取下之樣本其含水率之量測誤差之分佈如圖8。

統計量 DM=1.05，s=0.78，最佳校正方程式為值線方程式，$Y=-0.76+1.022X$，$R^2=0.95$，SE=1.21，校正方程式對性能改良不大。

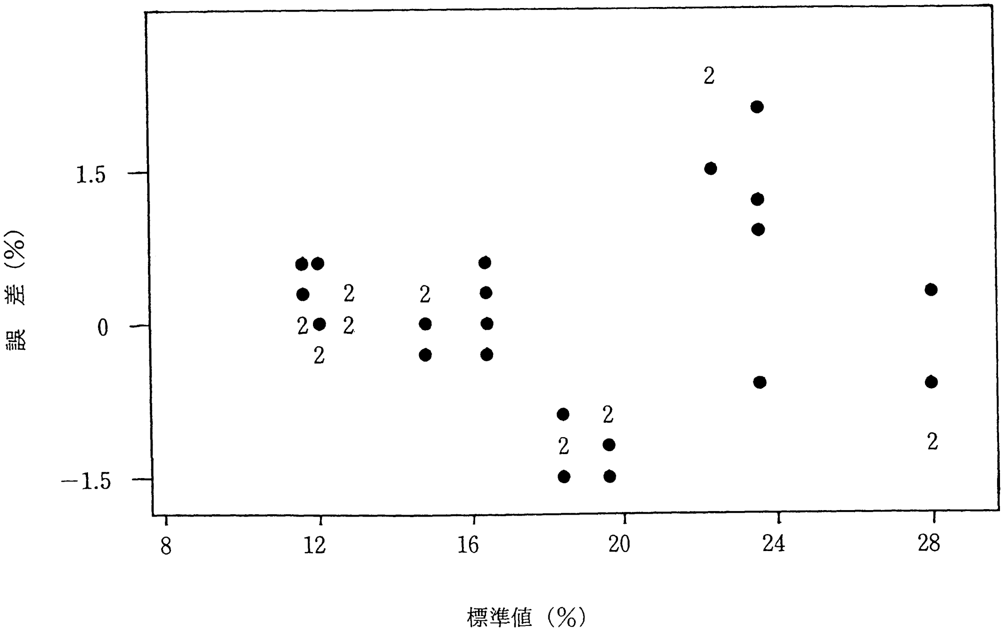

圖 8. CMW 三段式水份計量測乾燥過程中稻穀含水率之誤差分佈

Fig. 8. Meter bias versus oven moisture of rough grains in drying processfor CMW three-stage meter

此型設備在量測過程中，操作者施力大小對準確性影響極大，因此容易引起爭議。

(四)HE-50型

此研究中利用 HE-50 型水份計量測三種農產品之結果如下：

1. 大豆

量測性能如圖9所示，大於20%量測範圍時量測水份值未隨樣本水份增加而增加，反而出現平緩狀態。誤差之分佈如圖10，成規則性之分佈，低含水率時水份計有高估現象，低含水率則爲低估。因此 DM 與 s 之統計量在此無意義。

最佳校正方程式如下：

$Y=8.71+0.4817\times X$，$R^2=0.987$，SE＝0.228，顯示此種水份計之準確度必需藉由調整後才能改善，由 SE＝0.23可知，其校正方程式對性能改善極佳。

2. 紅豆

量測值與標準值之關係可知大於20%範圍量測性能即受影響，其誤差分佈圖與大豆完全相似。必須利用校正方程式才能改善性能最佳校正方程式爲三次式：

$$Y=11.471+2.044\times X+0.2086\times X^2-5.227\times 10^{-4}\cdot X^3$$

$R^2=0.988$，SE＝0.238

3. 稻穀

稻穀之量測性能與誤差分佈與大豆、紅豆之結果相似。

最佳校正方程式爲二次式：

$$Y=4.671+0.8747\times X+0.012\times X^2$$

$R^2=0.976$，SE＝0.321

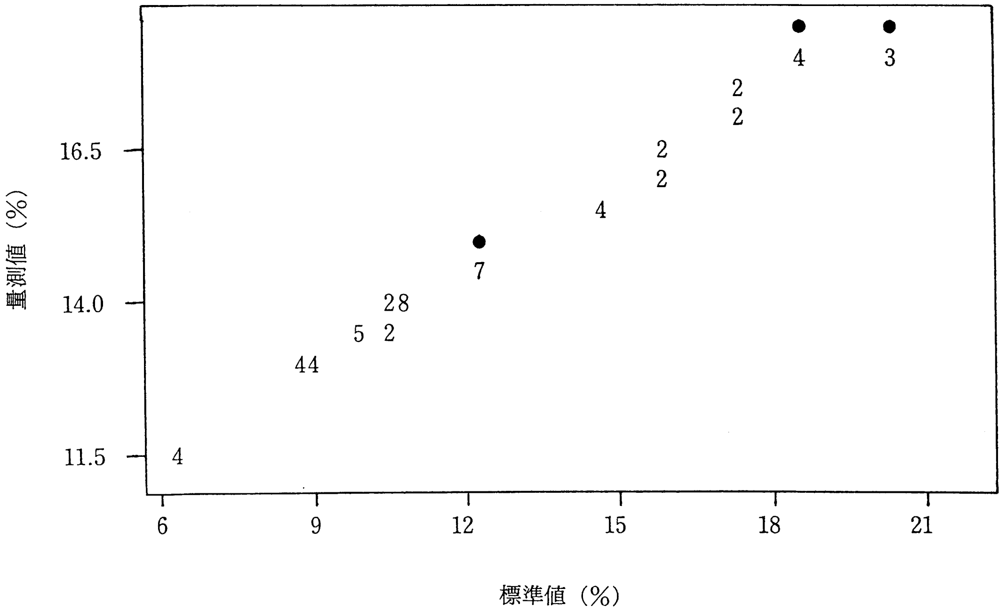

圖 9． HE-50 水份計量測大豆含水率之性能
Fig. 9. Meter values versus oven moisture of soybeans for HE-50meter

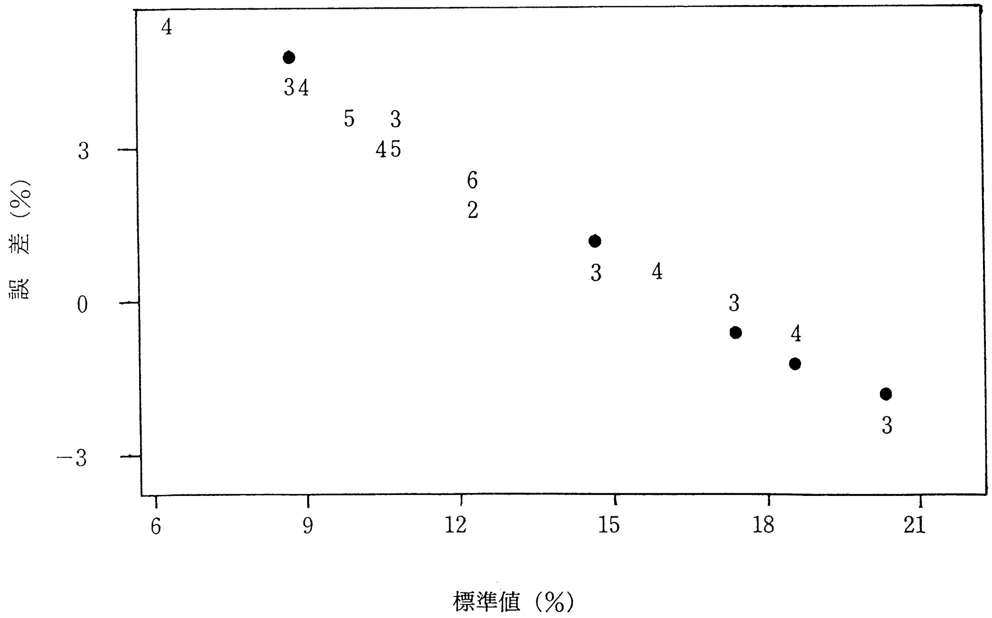

圖10． HE-50 水份計量測大豆含水率之誤差分佈
Fig. 10. Meter bias versus oven moisture of soybeans for HE-50meter

由上述量測結果可知，此型水份計量測誤差隨量測值之增加成規則變化，必須利用校正方程式以改良性能。

二、電容式

以 Steinlite SS-250 型水份計量測之農產品共有四種：

1. 短粒稻

量測值與標準值之關係分佈如圖11，誤差值之分佈性狀如圖12。誤差值在此儀器之適用範圍之外增加十分顯著。

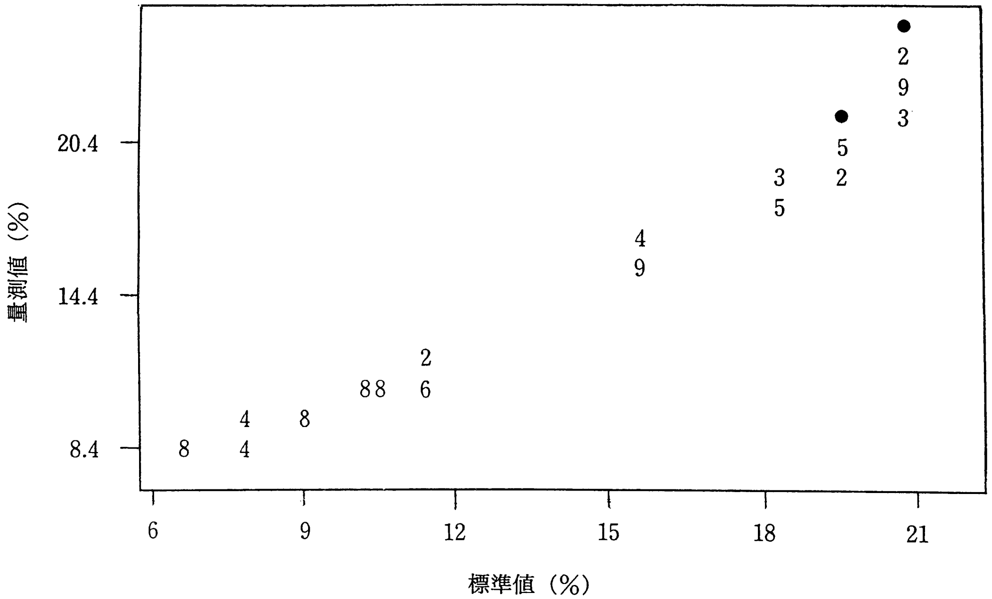

圖11. SS-250 水份計量測短粒稻含水率之性能

Fig. 11. Meter values versus oven moisture of short rough rice for SS-250 meter

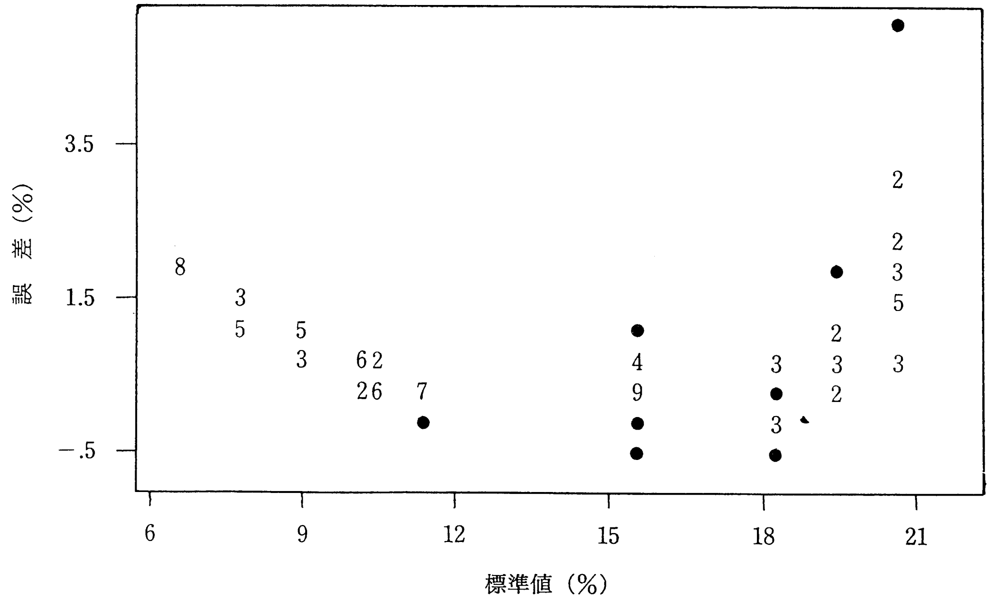

圖12. SS-250 水份計量測短粒稻含水率之誤差分佈

Fig. 12. Metr bias versus oven moisture of short rough rice for SS-250 meter

在其規格所定量測範圍（9—18%）之內，其統計量如下：

DM=1.38，s=0.69，在超過其規定量測範圍（6—21%）進行測定時，其 DM 值增大爲2.35。由此可知此設備之應用限制十分嚴格。

最佳校正方程式爲二次式：

$Y=6.965-0.011\times X+3.66\times 10^{-2}\times X^2$

$R^2=0.99$，SE=0.55，利用校正方程式可提高準確性能。

2. 長粒稻

長粒稻之量測差分佈與短粒稻相似，在其儀器規格範圍內（9—18%），DM 值爲1.12%，s=0.67

最佳校正方程式爲直線；

$Y=2.06+0.8016\times X$，$R^2=0.985$，SE=0.40，對性能改善良好

3. 玉米粒

此水份計對玉米粒之量測範圍較廣（10—36%），量測誤差分佈如圖13所示 DM=0.54，s=0.27，顯示此型水份計對玉米粒之量測性能良好。

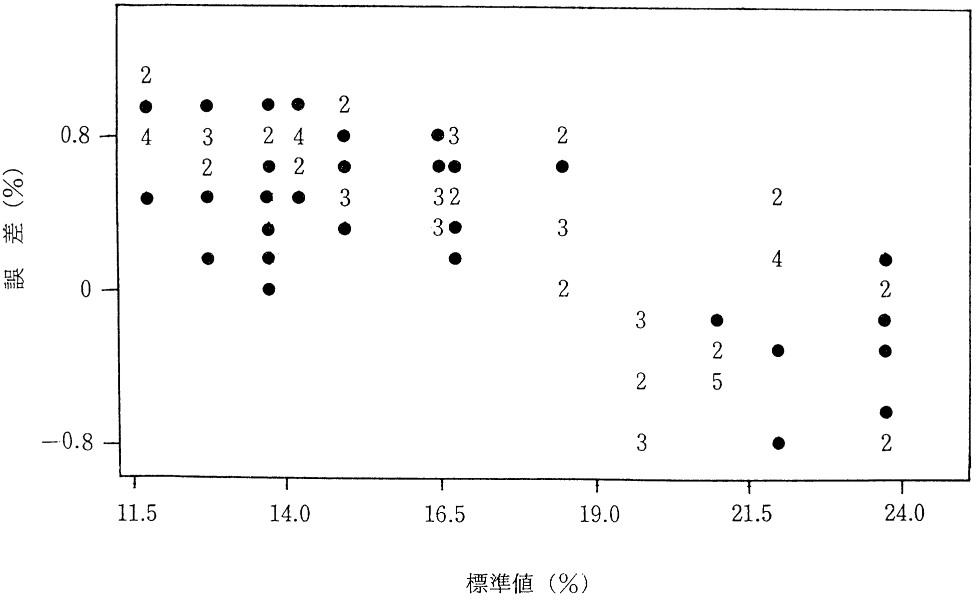

圖13. SS-250 水份計量測玉米粒含水率之誤差分佈

Fig. 13. Meter bias versus oven moisture of corn kernels for SS-250meter

校正方程式如下：

$Y=2.13+0.985\times X$，$R^2=0.99$，SE=0.342.

4. 紅豆

紅豆之量測誤差分佈如圖14，誤差隨樣本含水率之增加而有規律性變化，因此 DM 值無意義。

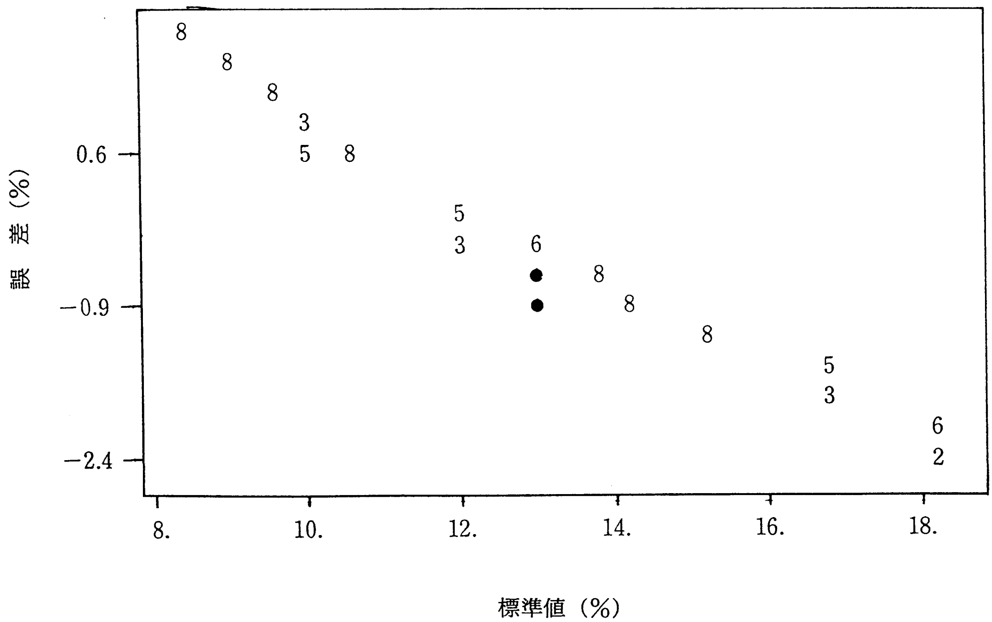

圖14. SS-250 水份計量測紅豆含水率之誤差分佈

Fig. 14. Meter bias versus oven moisture of red beans for SS-250meter

校正方程式爲二次式：

$Y=6.655+0.39\times X=3.976\times 10^{-2}\times X^2$

$R^2=0.966$，SE＝0.118，對準確性之改良良好。

5. 大豆

大豆之量測值對標準值的分佈圖與紅豆相似。而其誤差分佈隨量測值之增加而成規則分佈，此結果也與紅豆之量測物性相同，校正方程式爲直線：

$Y=2.587+0.744\times X$，R2＝0.944，SE＝0.242

由上述結果可知，此型 SS-250 水份計，似玉米粒之量測最爲適用，可直接以讀出值代表含水率。對短粒與長粒稻而言，受到量測範圍限制。對大豆與紅豆而言，量測誤差與量測標準值成規律變化，需要以校正曲線加以改良。

三、高週波式水份計

高週波式 CD—3A 水份計藪稻穀之量測結果如圖15、16。圖15中顯示量測值對標準值之分佈有曲線之規律性非均勻分佈，在10％以下，訊號並不明顯改變。圖16顯示量測誤差值在固定值10％附近範圍準確度最高，最大誤差出現於15％之樣本。10～21％之範圍有低估現象。

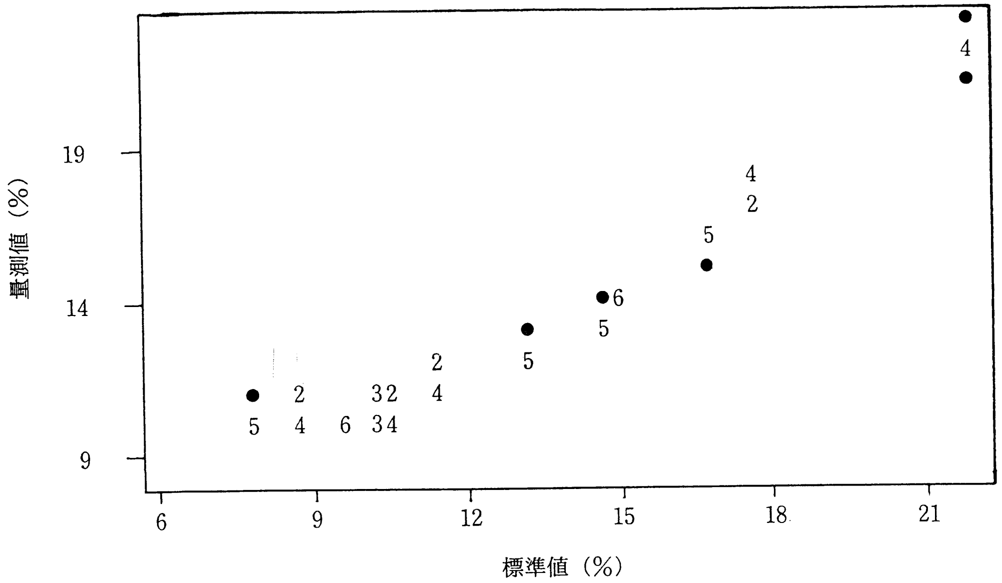

圖15. CD-3A 水份計量測稻穀含水率之性能

Fig. 15. Meter values versus oven moisture of rough grains for CD-3A meter

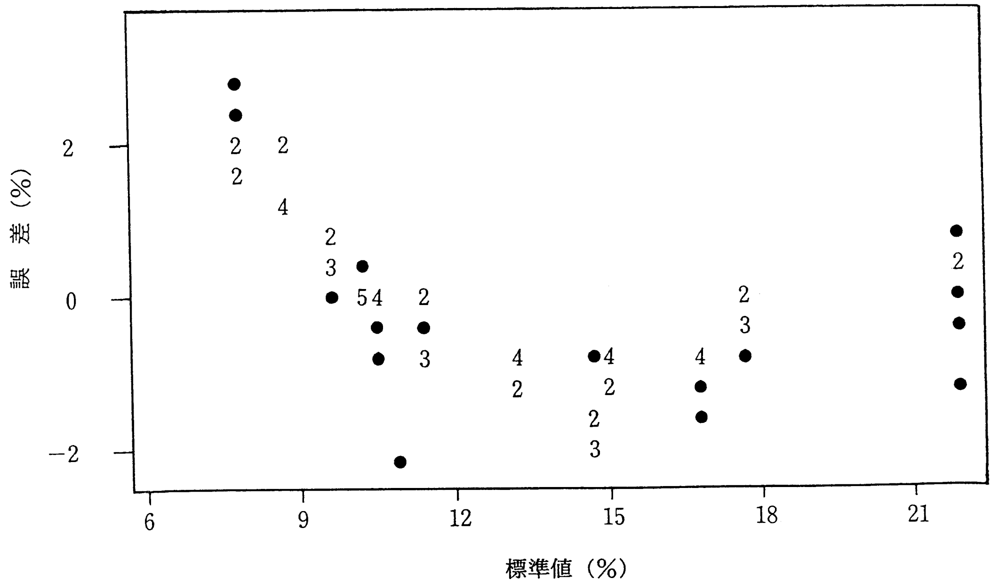

圖16. CD-3A 水份計量測稻穀含水率之誤差分佈

Fig. 16. Meter bias versus oven moisture of rough grains for CD-3A meter

未建立校正曲線前，誤差絕對值之統計量，

DM＝0.85，s ＝0.44

最適當之方程式爲二項式，

$Y = 10.02 - 0.395 \times X + 4.357 \times 10^{-2} \times X^2$

$R^2 = 0.98$，$SE = 0.5$

利用校正方程式可改良量測準確性。

結　論

綜合上述研究結果，所得各型水份計之性能結論如下：

一、對電阻式水份計而言，Kett 型水份計在含水率20%以內之範圍其準確性在1.0%以內，校正方程式對性能改良效果並不明顯。YA—80 水份計之作業準確性在0.5%之內，對取自乾燥機之樣本則為1.0%。此兩型水份計不需要利用校正方程式以改良性能。

二、國產 CMW 水份計兩段式之量測範圍在21%以內，20%以內量測誤差為1.6%，利用校正方程式之改良效果良好。三段式水份計在高量測範圍之誤差值也為之增加，準確性均1.2%之內。此型水份計受到使用者之施力大小而影響。

三、HE—50 型之量測誤差隨樣本含水率之增加有明顯之增加關係，以直接讀出值與標準值比較，其誤差值極大必須利用校正方程式以改良準確性，其準確性可改良於0.5%之內。

四、電容型水份計之量測誤差與樣本含水率之關係因作物而異，以玉米粒之量測性能最好，在量測範圍內，準確性為0.5%之內，稻穀在廠商規格範圍內直接讀出值準確性在1.5%之內，以校正方程式可改善為0.6%以內。豆類之量測值則需要利用校正方程加以改良。

五、高週波型水份計之量測誤差有規則性分佈，準確性在1.0%之內。

六、由上述三型水份計得知，其準確性在20%量測範圍之內，直接讀出或以校正式調整後可維持1.0%之內，高於20%之量測範圍誤差顯著增加，高含水率穀物之水份計急需開發。

誌　謝

此計畫承蒙國科會 NSC81—0409—B055—501 計畫之支持得以完成，特此誌謝。

引用文獻

1. 陳加忠、曹之祖、賴建洲。1990a。電子相對濕度計之性能評估。農業工程學報 34(4)：79-96。

2. 陳加忠、賴建洲、曹之祖。1990b。烏龍茶葉吸濕曲線及其品質維持之應用研究。中華農業研究 34(3)：239-257。

3. ASAE. 1982. Agricultural Engineer Yearbook. ASAE Standands S358.1, S352, S410T and S353, St. Joseph. MI.

4. Hanna, M.A. and N. Sharma. 1988. Oven drying for soybean moisture determination. Trans. of ASAE 31 (6)：1851-1854.

5. Huggins, L. F. 1983. Analyis and Interpretation, In：Instrumention and measurement for environmental science, Mitchell, B. W. (eds.), Chap. 15, ASAE, St. Joseph. MI.

6. Hurb;urgh, Jr, C. R., T.E. Hazen and C. J. Bern. 1985. Corn moisture measurement accuracy. Trans. of ASAE 28(2)：634-640.

7. Myers, R. H. 1986. Classical and modern regression with application, PWS and Kent Publ. Boston USA.

8. Noomhorm. A. and L. R.Verma. 1982. A comparison of microwave, air oven and moisture meters with standand method for rough rice moisture determination. Trans. of ASAE 25(6)：1464-1470.

9. Wilhelm, L. R., R. R. Perrin and D. J. Barbar. 1988. Evaluation of methods for moisture content determination in snap beans. Trans. of ASAE 31(3)：956-961.

Study of the Performance of Electrical Grain Moisture Meters[1]

Chia-Chung Chen and Chih-Tsu Tsao[2]

Summary

Moisture content is one of the most important quality related properties of agricultural products. Accurate moisture measurements is very important in grain processing and marketing. Electronic moisture meters provide the quick indication values but lack of accuracy. The objectives of this study was to evaluate the performance of several electrical moisture meters. The moisture contents that measured by air oven were served as the standard values for comparison. The accuracy and precision of measurements from electrical meter were analyzed by statistical technique. Four kinds of grains were tested. They are rough rice, corn kernels, soybeans and red beans. The statistics of standard deviations, coefficients of variance and outliers were evaluated at each point estimation to observe the measuring ranges of m. c. meters. The calibration equations obtained from the regression analysis method were estabilished to improve the accuracy as necessary. The results from this research indicated that the accuracy of electrical meter was within 1.0% by directly reading values or adjusted by calibration equations. The errors significantly increased for the grains of high moisture content. The m.c. sensor for determining of high m.c. (above 20 %) for grains is urgenty meeded to be developed in Taiwan.

Key words : Grains, Moisture content meter.

1. Contribution No. 1697 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Associate researcher and specialist, Department of Agricultural Engineering, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.